

Actas V Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata

Representaciones textuales y no textuales sobre alelo y genotipo en estudiantes avanzados del profesorado en Ciencias Biológicas

**Teresa Legarralde⁽¹⁾, Pablo de Andrea⁽¹⁾, Rosana Barra⁽¹⁾, Constanza Marafuschi⁽¹⁾,
Alfredo Vilches⁽¹⁾**

¹Departamento de Ciencias Exactas y Naturales. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata (Argentina)

¹teresalegarralde@hotmail.com

Resumen

Una de las temáticas más conflictivas en el campo de la educación en ciencias, es la que concierne al área de la Genética. En el presente trabajo se indagan las representaciones textuales o simbólicas y no textuales o gráficas construidas por estudiantes avanzados del profesorado en Ciencias Biológicas sobre las nociones de alelo y genotipo. Se trata de una investigación de tipo exploratoria donde los datos se relevaron mediante un cuestionario constituido por preguntas abiertas. Se encontraron inconsistencias entre las representaciones textuales y las no textuales, que alerta sobre la necesidad de trabajar en la conversión de representaciones, habituando a los alumnos al uso y transformación de la información en diversas tipologías representacionales.

Palabras clave: estudiantes avanzados del profesorado de Biología; nociones de alelo y genotipo; representaciones textuales o simbólicas y no textuales o icónicas; enseñanza y aprendizaje de la Genética; didáctica de la Genética.

Introducción

El campo propio de la enseñanza de la Genética resulta un espacio conflictivo dado que la abstracción y complejidad de los contenidos a abordar se vincula a diversas problemáticas y dificultades, tanto para su enseñanza como para su aprendizaje. Esta tensión, ha sido reportada por distintos investigadores y sigue siendo una fuente de problemas, limitando los aprendizajes de los estudiantes en diferentes niveles de la enseñanza (Ayuso y Banet, 2002; Caballero Armenta, 2008; Diez de Tancredi y Caballero, 2004; Gailhou, Ercoli, Tello Alvial y Wajncser, 2008; Gallarreta, 2003; Legarralde, Gallarreta y Vilches, 2012; Lewis y Wood Robinson, 2000; Ruiz González, Banet y López Banet, 2017). La literatura disponible sobre el tema reconoce estas dificultades y las relaciona principalmente con las ideas previas, con el tratamiento dado en los libros de texto y con el abordaje didáctico del contenido (Caballero Armenta, M., 2008; Fanaro, Otero y Greca, 2005; Garrido Navas y González García, 2017). Además, debido al veloz avance de los conocimientos en este campo, resulta indispensable el logro de aprendizajes adecuados sobre Genética, lo que permitirá tomar posición sobre sus implicancias a nivel social, expresar acuerdos y desacuerdos desde puntos de vista éticos, políticos o económicos respecto a estos adelantos (Abril, 2010). La naturaleza compleja de estas nociones disciplinares representa un punto neurálgico de consideración en el área de la didáctica de la Biología, y la búsqueda de explicaciones respecto a los modos de representación de estos contenidos por parte del alumnado, una de sus líneas de investigación. En este sentido, diversos autores documentan resultados de investigaciones realizadas con alumnos del nivel superior y universitario y en específico, con estudiantes de la carrera profesorado en Ciencias Biológicas (Gallarreta, 2003; Grande, Charrier Melillán y Vilanova, 2008; Klautau et al., 2009; Legarralde et al., 2012; Legarralde, Vilches y de Andrea, 2014; Rendón, Galagovsky, Stella y Alonso, 2008). Entre las nociones que resultan de difícil comprensión para los estudiantes se encuentran las de gen y alelo, y su rol en la conformación del genotipo (Corbacho y De, 2009; Diez de Escribano y Caballero Sahelices, 2004; Diez de Tancredi y Caballero, 2004; Lewis y Wood-Robinson, 2000). Estas nociones y sus comprensiones, pueden rastrearse a través de un formato textual, como expresiones, proposiciones, representaciones simbólicas que pueden expresarse en forma escrita o verbalmente; también se manifiestan en formato no textual o icónico, como son los gráficos, esquemas, dibujos (Justi, 2006; Legarralde, De Andrea y Vilches, 2019; Moreira, Greca y Rodríguez Palmero, 2002). Como señalan Martí (2003) y Martí y Pozo (2000), entre otros, las respuestas de los sujetos son representaciones externas que pueden dar cuenta de las representaciones internas que, acerca de un contenido, tienen los mismos. En esta línea, Galagovsky (2007), apunta que los estudiantes suelen conferir diversos significados a la información que reciben, y que, a partir de dichas acepciones construyen sus propios modelos, los cuales resultan válidos para ellos, pero no obligatoriamente pertinentes desde el punto de vista científico. Además, la consideración de estas significaciones es valiosa, dado que el individuo elabora un modelo mental en derredor de una noción o contenido, el cual le resulta funcional, dado que le

facilita la comprensión de ciertos fenómenos, pero puede posibilitar o entorpecer el aprendizaje adecuado de otros conceptos. En este sentido, y dado que en un corto intervalo de tiempo impartirán clases en los diferentes niveles educativos, resulta de interés para este estudio, centrar la mirada en las representaciones textuales y no textuales de estudiantes avanzados del profesorado en Ciencias Biológicas; ello justifica los objetivos planteados:

Relevar las representaciones textuales o simbólicas y no textuales o icónicas que, sobre algunos conceptos centrales del campo de la Genética como alelo y genotipo, ha construido un grupo de estudiantes avanzados del profesorado en Ciencias Biológicas.

Cotejar las representaciones textuales y no textuales sobre alelo y genotipo generadas por futuros profesores de Biología.

Caracterizar la correspondencia entre representaciones textuales y no textuales producidas por alumnos del profesorado en Ciencias Biológicas próximos a egresar.

Metodología

El estudio consiste en una investigación de tipo exploratoria, análisis que se caracteriza por ser flexible en su método, por lo que se decidió seguir un proceso de investigación cualitativo. Se optó por este encuadre metodológico, atendiendo a Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), quienes señalan a esta modalidad como adecuada para examinar un problema o temática específica desde otras miradas o con nuevos matices; además se los indica como apropiados para identificar contextos o situaciones de estudio, recabar información para investigaciones posteriores y establecer orientaciones o tendencias potenciales entre variables. El estudio involucró a alumnos avanzados de la carrera profesorado en Ciencias Biológicas de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (FaHCE), Universidad Nacional de la Plata (UNLP), provincia de Buenos Aires (Argentina). Los datos se recabaron mediante un cuestionario integrado por preguntas abiertas vinculadas a rastrear las representaciones de alelo y genotipo, el uso de la simbología empleada tradicionalmente, con letras mayúsculas y minúsculas (*e.g.* *B* para un alelo dominante y *b* para una alelo recesivo), y la esquematización de genotipos en cromosomas (*e.g.* genotipo heterocigota, *Bb*). El cuestionario se suministró a 14 estudiantes avanzados ($n=14$) del profesorado en Ciencias Biológicas. Se consideraron avanzados (A) a aquellos alumnos que hubieran aprobado la asignatura Genética, correspondiente al cuarto año de la carrera; los mismos fueron identificados con un código alfanumérico a los efectos de mantener su anonimato (A1, A2... A14). A través del cuestionario se exploraron las representaciones que poseen los futuros profesores sobre alelos y genotipo, y la relación que establecen entre las nociones de alelo dominante y recesivo, su representación mediante símbolos y los dibujos o esquemas que generan. El dispositivo formula una situación de clase en la que un docente realiza en el pizarrón un cruzamiento mono híbrido y posteriormente realiza una serie de preguntas a sus alumnos con la intención de sondear si los destinatarios realmente comprenden la representación que quedó plasmada en un damero de Punnett. A partir de esta situación, se solicita la opinión de los futuros profesores

buscando respuestas respecto a lo que debiera decirles y representar el profesor ante dicha situación áulica. El escenario es el que se describe en la Figura 1.

	B	b
B	BB	Bb
b	Bb	bb

Un profesor realiza la siguiente representación en la pizarra...

Para asegurarse de que sus alumnos comprendan dicha representación: (A) ¿qué debería decirles el profesor acerca de lo que representan "B" y "b"? (B) Si quisiera representar el significado de "B" y "b" colocando estas letras en un esquema de los correspondientes cromosomas ¿qué dibujo debería hacer? (C) ¿Qué les diría que representa, por ejemplo, "Bb"? (D) ¿Cómo representaría "Bb" en los cromosomas?

Figura 1. Consigna del instrumento utilizado.

Luego de su administración, se analizaron las 14 producciones textuales y no textuales a partir de un protocolo de análisis que permitió su categorización. Los patrones generales de respuestas permitieron construir las categorías, las cuales fueron analizadas cualitativa y cuantitativamente.

Resultados

Respecto al inciso A del cuestionario, las respuestas se agruparon en dos categorías:

- 1) Respuestas adecuadas. Son aquellas consistentes con los conocimientos científicos actuales, que aluden que *B* es el alelo dominante y *b* el recesivo, que atribuyen que son variantes de un gen, o que refieren a alelos de un gen. El 36% de los estudiantes brindó respuestas de este tipo (e.g. "*Son los alelos (variantes) de un gen*", "*son alelos segregados independientemente durante la formación de las gametas*").
- 2) Respuestas inadecuadas. Son aquellas que refieren que *B* y *b* son cromosomas, genes, características genéticas, caracteres, rasgos, genotipo y fenotipo. Corresponden al 64% de las respuestas. "*B= gen dominante y b=gen recesivo*", "*Representan un carácter B dominante sobre b que es recesivo y se expresa la información que tiene B*", "*B y b, debería decir el profesor, son características que determinan un gen.*", "*Cada letra representa un cromosoma de una gameta que codifica para una característica determinada. En mayúscula se representa el carácter dominante*", son algunas de las expresiones de los alumnos.

Para el ítem B, se identificaron dos modelos a partir del análisis de los esquemas realizados por el alumnado.

Modelo 1: Corresponde al modelo esperado, un modelo adecuado y consistente con los conocimientos científicos actuales; en él, cada símbolo (alelo) es representado en el mismo locus en cromosomas diferentes (Figura 2. A y B). El 72% de los encuestados realiza esquemas de esta índole.

Modelo 2: Corresponde a un modelo inadecuado, no consistente con los conocimientos científicos actuales; aquí, cada símbolo (alelo) es representado de maneras diferentes, ubicándolos físicamente de modo inadecuado (Figura 2. C y D). Este modelo es generado por el 21% de los alumnos, mientras que el resto de los estudiantes (7%) no realiza el dibujo solicitado.

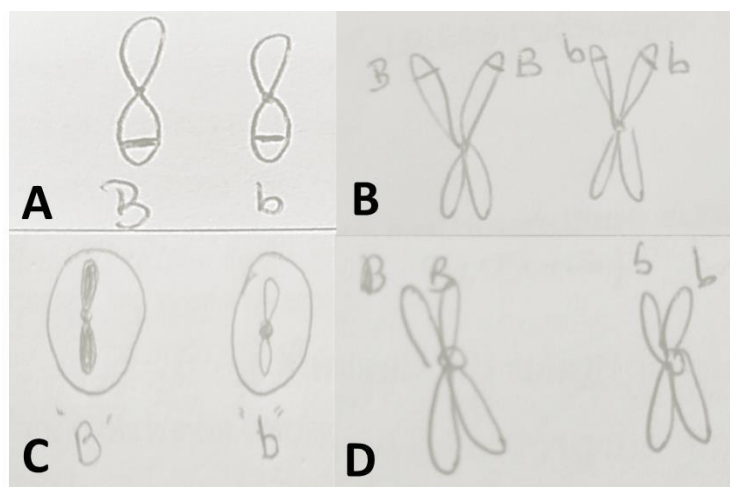


Figura 2. Diferentes tipologías de esquemas adecuados e inadecuados para representar a los alelos B y b en cromosomas. **A y B.** Modelos adecuados generados por los alumnos. **C y D.** Modelos inadecuados generados por los alumnos.

En relación a la parte C del instrumento, el 64% de los futuros profesores elabora respuestas adecuadas, refiriendo que “*Bb, es el heterocigota*”, o “*Les diría que este individuo es heterocigota, es decir, tiene alelos diferentes en sus cromosomas homólogos*”; el 29% emite respuestas inadecuadas (“*Son un par de cromosomas que codifican para una misma característica, representan las variables de esa característica*”, “*La expresión de un rasgo sobre el otro*”) y el 7% no responde. En cuanto al último apartado (D), los esquemas generados corresponden al modelo esperado o adecuado, en un 50% (Figura 3.A y B) y a un modelo inadecuado en un 21% (Figura 3.C, D y E); en cambio, el 29% de los estudiantes no realiza dibujo o esquema alguno.

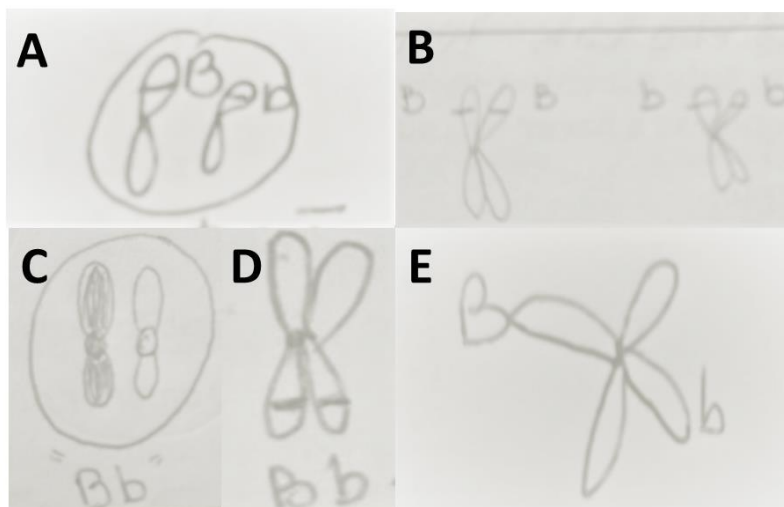


Figura 3. Esquemas adecuados e inadecuados generados por los estudiantes para representar el genotipo heterocigota Bb. **A y B.** Modelos adecuados. **C, D y E.** Modelos inadecuados generados por los alumnos.

Discusión

El análisis muestra que una mayoría de estudiantes presenta incomprendiones respecto a la conceptualización de alelo, noción que parece asociarse indistintamente a términos habitualmente utilizados para referirse al fenotipo, como carácter, características o rasgos; por otra parte emerge el uso del término gen como sinónimo de alelo (" $B = \text{gen dominante}$ y $b = \text{gen recesivo}$ "). Resultados similares han sido reportados por distintos investigadores (Barros y Carneiro, 2005; Corbacho y De, 2009; Diez de Escribano y Caballero Sahelices, 2004; Diez de Tancredi y Caballero, 2004; Gallarreta, 2003; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Legarralde et al. 2016). Si bien no se presenta tan marcada como en el caso de alelo, para el concepto de genotipo heterocigota se observa una tendencia similar, donde las conceptualizaciones inadecuadas y la ausencia de respuesta representa a más de la tercera parte de los alumnos; se repite el uso indistinto o la sinonimia con cromosomas homólogos, cromátidas hermanas, presencia de alelos en un mismo cromosoma, un carácter o un gen, confusión de términos que obstaculiza la comprensión de otros conceptos (Flores Camacho et al., 2017; Gailhou et al., 2008; Gallarreta, 2002; Grande, 2008; Legarralde et al., 2012; Legarralde et al. 2019). Respecto a la localización de los alelos y del genotipo heterocigota que constituyen, la dificultad parece estar asociada a la ubicación en el cromosoma o el lugar físico que ocupan, situándoselos en un brazo de un cromosoma simple, o como símbolos que identifican a cada una de las cromátidas de un cromosoma duplicado; el uso de la simbología habitual (letras mayúsculas y minúsculas), utilizada para representar a los alelos de un gen, estaría jugando aquí un papel importante también, respecto a los conocimientos logrados en el área (Ayuso y Banet, 2002; Barros y Carneiro, 2005; Legarralde et al. 2018).

Se destaca además que en el grupo encuestado se dan una diversidad de situaciones particulares, privativas de cada estudiante; en este sentido, valgan como ejemplo las producciones del alumno A1, quien responde en forma inadecuada, textualmente, al punto A, de modo adecuado al punto B, en formato icónico o no textual, de manera adecuada, textual, al ítem C e inadecuadamente al ítem D. (Figura 4).

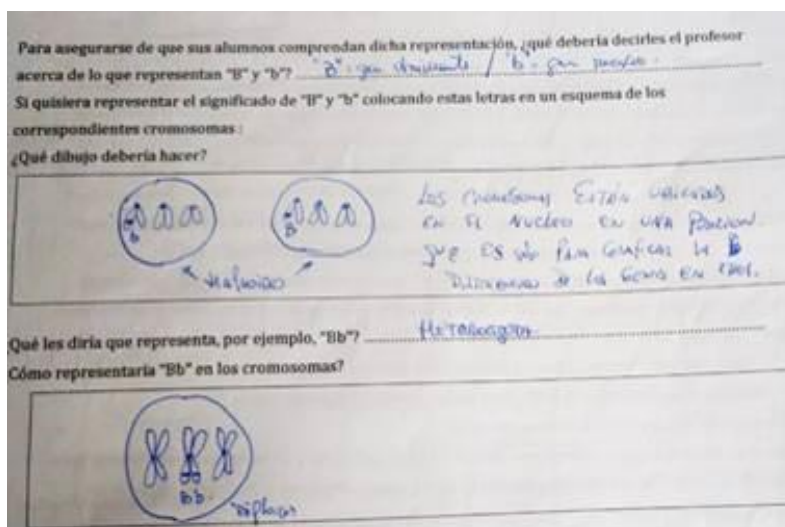


Figura 4. Conjunto de respuestas generadas en formato simbólico y gráfico por el alumno A1

Se incluye otro ejemplo en la Figura 5, para dar cuenta de la pluralidad de respuestas encontradas, en este caso correspondiente al estudiante A7; aquí se observan respuestas textuales adecuadas para los ítems A y C. En cambio el esquema generado en el punto C para representar a los alelos B y b es incongruente; sin embargo, aquel que representa el genotipo heterocigota Bb, resulta apropiado.

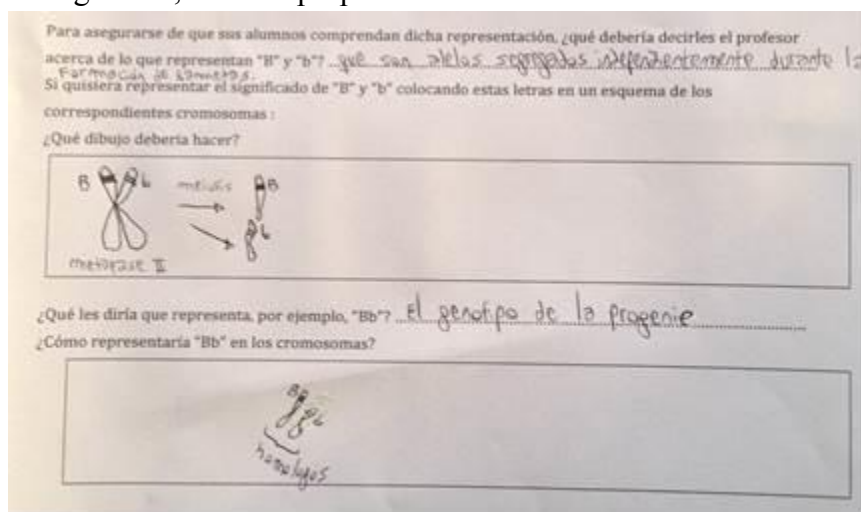


Figura 5. Respuestas a la encuesta producidas por el estudiante avanzado codificado como A7.

Conclusiones

Como conclusiones emergentes de esta investigación se destaca que los futuros docentes movilizaron saberes en distintos formatos y que, a partir del análisis realizado se observa una disputa entre los modos de representación textuales y no textuales de las nociones de genética indagadas. En este sentido, se observa una inconsistencia entre las representaciones textuales y las no textuales, incongruencia o no correspondencia que advierte respecto a la necesidad de trabajar en la conversión de representaciones, familiarizando a los alumnos con diversas tipologías representacionales; esto, en la búsqueda de mejores logros de aprendizaje vinculados a la comprensión de nociones relevantes del campo de la Genética (Ayuso y Banet, 2002; Báez Islas, Flores Camacho, García Rivera y Gallegos Cáceres 2017; Fanaro et al., 2005; Lombardi, Caballero y Moreira, 2009; Márquez y Prat, 2005; Prat e Izquierdo, 2000; Ruiz González et al., 2017). Por otra parte Flores-Camacho, Gallegos Cáceres y Cruz Cisneros (2017), mencionan que:

se requiere de instrumentos que den cuenta de la forma en la que los sujetos explicitan sus representaciones, sean estas expresadas en un lenguaje gráfico, simbólico o en una combinación de ambos. Lo anterior justifica la relevancia de construir instrumentos de investigación y evaluación acordes con un proceso representacional y su dinámica (p.2 - 3).

En esta línea, la didáctica de la Genética se establece como un campo sobre el cual seguir explorando e innovando, dado que demanda un trabajo permanente, tanto en el sondeo y registro de las dificultades para aprender conceptos disciplinares, cómo en el diseño, implementación y evaluación de propuestas didácticas superadoras de las estrategias de enseñanza utilizadas habitualmente.

Referencias bibliográficas

- Abril, A. (2010). Influencia de la sociedad del conocimiento en la enseñanza de las ciencias experimentales, un caso de estudio: la genética y la biología molecular. *Revista de Antropología Experimental*, 1, 1-16.
- Ayuso, E. y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1), 133-157.
- Báez Islas, A; Flores Camacho, F.; García Rivera, B.E. (2017). Diversidad de representaciones sobre genética, cómo promover su construcción y explicitación. *Memorias del XIV Congreso Nacional de investigación Educativa*. San Luis de Potosí. México.
<http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v14/tematica06.htm>

Barros, M. y Carneiro, M. 2005. Os conhecimentos que os alunos utilizam para ler as imagens de mitose e de meiose e as dificuldades apresentadas. V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Atas do V E.N.P.E.C. 5: 1- 12.

Caballero Armenta, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de Genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26 (2), pp. 227-244

<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-2267-2270.pdf>

Corbacho, V. y De, P. (2009). Enseñanza de la genética en la educación de nivel superior: dificultades para comprender conceptos y resolver problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extraordinario, pp. 1021-1024

Diez de Tancredi, D. y Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de investigación*, 56, pp. 91-121

Diez de Escribano y Caballero Sahelices (2004). Imágenes externas de gen y cromosoma en materiales instruccionales para la enseñanza de la Biología en el Sistema educativo venezolano. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* (RBPEC).

Fanaro, M.A.; Otero, M.R. y Greca, I.M. (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 1-24.
http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART2_Vol4_N2.pdf

Flores- Camacho, F; García Rivera, B.E; Báez Islas, A.; Gallegos-Cázares, L. (2017 a.) Diseño y Validación de un Instrumento para Analizar las Representaciones Externas de Estudiantes de Bachillerato sobre Genética. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 10 (2) jul. 2017. <https://revistas.uam.es/index.php/rie/article/view/8327>

Flores-Camacho, F. ; Gallegos-Cázares, L.; Cruz Cisneros, J. (2017 b). Las representaciones científicas en estudiantes de bachillerato en un entorno multi-representacional. ¿Cómo identificarlas y evaluarlas?. XIV Congreso Nacional de Investigación Educativa – COMIE-. San Luis Potosí, Mexico.

Galagovsky, L. (2007) Enseñanza versus aprendizaje de las ciencias naturales. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*. Número extraordinario, pp. 66-87. ISSN: 0121-3814

- Gallarreta, S. (2002). Concepciones postinstruccionales sobre ADN, cromosomas, genes y alelos en el nivel universitario: determinación y análisis en estudiantes de Ciencias Veterinarias. *Educación en Biología*, 5 (2), pp. 56-60.
- Gallarreta, S. (2003). Concepciones postinstruccionales y obstáculos de aprendizaje en conceptos genéticos básicos. Determinación y análisis en el nivel universitario. *Memorias Encuentro de Investigadores en Enseñanza de las Ciencias*. Facultad de Ingeniería. UNCPBA.
- Gailhou, C.; Ercoli, P.; Tello Alvial, V.; Wajncner, Y. (2008). Herencia Biológica: Obstáculos Didácticos vinculados con las Concepciones Alternativas de los alumnos de Escuela Secundaria Básica sobre Herencia Biológica y Genética. En actas de *VIII Jornadas Nacionales y III Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. Mar del Plata Buenos Aires Argentina
- Garrido Navas, M.C y González-García, F. 2017. La Genética en los textos de estudio de la educación secundaria obligatoria: ¿se hace caso a la investigación didáctica? *Enseñanza de las Ciencias*, N.º Extraordinario (2017): 1225-1260. ISSN (Digital): 2174-6486
- Grande, E.; Charrier Melillán, M.; Y Vilanova, S. (2008). Las Representaciones de Gen, Cromosoma y Meiosis que presentan los Estudiantes Universitarios. En actas de *VIII Jornadas Nacionales y III Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. Mar del Plata Buenos Aires Argentina
- Hernández Sampieri, R.; Fernández-Collado, C.; Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ed. Mac Graw-Hill, México. 600 pp.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173–184.
- Klautau, N.; Aurora, A.; Dulce, D.; Silviene, S.; Helena, H. y Correia, A. (2009). Relação entre herança genética, reprodução e meiose: um estudo das concepções de estudantes universitários do Brasil e Portugal. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2267-2270.

- Legarralde, T.; Gallarreta, S. y Vilches, A. (2012). Comprensión del proceso meiótico en estudiantes del profesorado en ciencias biológicas. *Actas III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata
- Legarralde, T.; Vilches, A. y De Andrea, P. (2014). Percepción sobre la enseñanza de la Genética en futuros Profesores de Biología. *Actas XI Jornadas Nacionales y VI Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. General Roca, Río Negro. Argentina <http://congresosadbia.com/ocs/index.php/roca2014/roca2014/schedConf/presentation>
- Legarralde, T. Rosenberg, C. y Vilches, A. (2016). Representaciones externas sobre conceptos clave de Genética. Un estudio en futuros profesores de Biología. *Actas de las XII Jornadas Nacionales y VII Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. VI Seminario Iberoamericano CTS y X Seminario CTS. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. <http://congresosadbia.com/ocs/index.php>
- Legarralde, T.; Rosenberg, C.; de Andrea, P.; Arcaría, N.; Menconi, M.F.; Piancazzo, A. (2018). Una actividad frecuente en el aula de Biología. El trabajo con problemas de Genética. *Actas de las XIII Jornadas Nacionales y VIII Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. Bernal, Buenos Aires, Argentina. <http://congresosadbia.com/ocs/index.php>
- Legarralde, T.; De Andrea, P. y Vilches, A. (2019). Algunos aspectos clave de la diversidad genética. Representaciones externas en estudiantes del profesorado en Ciencias Biológicas. *Actas X Congreso Iberoamericano de Educación Científica Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias en Debate*. Montevideo, Uruguay. <http://www.cieduc.org/2019/areas.html>
- Lewis, J. y Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22 (2): 177 - 195.
- Lombardi, G.; Caballero, C.; Moreira, M.A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación* 66, 147-186.

- Márquez, C. y Prat, A. 2005. Leer en clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (3): 431-440.
- Martí, E. (2003). *Representar el mundo internamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación*. Madrid: Antonio Machado Libros S.A.
- Martí, E. y Pozo, J. (2000). Más allá de las representaciones mentales: la adquisición de los sistemas externos de representación. *Infancia y Aprendizaje*, 90, 11-30.
- Moreira, M.A.; Greca, I.; Rodríguez Palmero, M. (2002). Modelos Mentales y Modelos Conceptuales en la Enseñanza y aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2 (3), 37-57.
- Prat, A. e Izquierdo, M (2000). *Función del texto escrito en la construcción de conocimientos y en el desarrollo de habilidades. Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situación de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*. pp. 73-112. Madrid: ICE Universitat Autònoma de Barcelona. Editorial Síntesis.
- Rendón, C.; Galagovsky, L.; Stella, C. y Alonso, M. (2008). La Resolución de Problemas de Genética con el Tablero de Punnet: Un método eficiente que oculta un aprendizaje deficiente. En actas de *VIII Jornadas Nacionales y III Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*. Mar del Plata Buenos Aires, Argentina.
- Ruiz González, C., Banet, E., y López Banet, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14 (3), 550-569.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.04